

氏 名	木本 政義
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博甲第950号
学位授与の日付	平成19年9月28日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	微粉炭燃焼用負荷変動対応型低NO _x バーナの開発
論文審査委員 (主査)	大谷 吉生 (自然科学研究科・教授)
論文審査委員 (副査)	田村 和弘 (自然科学研究科・教授), 瀬戸 章文 (自然科学研究科・准教授), 汲田 幹夫 (自然科学研究科・准教授), 古内 正美 (自然科学研究科・准教授)

英文要約

The pulverized coal burner, which is capable of reducing the emissions of both NO_x and unburned carbon in fly ash by improving the combustion stability at a low particle load, was developed. This burner was equipped with a function of enhancing the concentration of pulverized coal at the burner nozzle. Since swirls of pulverized coal flow in the burner bring an increase in NO_x concentration, the following two pulverized coal concentrating methods were studied both experimentally and numerically.

(1) Concentrate pulverized coal with centrifugal force of swirl flow then remove swirls of flow with a straightener installed at the outlet of burner nozzle (tangential-inflow concentrating method).

(2) Concentrate pulverized coal with inertia by installing a streamlined ring in an annular channel of burner nozzle without swirl flow (streamlined-ring concentrating method).

Both methods were found to have sufficient concentrating capability of pulverized coal through cold-flow tests with a small-scale burner. Then these burners were scaled up to large-capacity burners corresponding to an actual utility so as to verify the capacity on concentrating pulverized coal.

Furthermore, for the tangential-inflow concentrating method, the mechanisms of the pulverized coal thickening at the burner nozzle were investigated through a CFD simulation using Fluent 6.2 (Fluent, Inc.). As a result, it was found that the strong swirl given at the inlet of burner nozzle was restrained not only by the deflector angles attached to the inner wall of burner cylinder but by the concentration control ring installed in the burner nozzle. It was also shown that the thickening of pulverized coal was achieved by reducing the distance between the control ring and the burner outlet because the pulverized coal particles tended to diffuse towards the center of burner nozzle by the turbulence generated by the control ring.

学位論文要旨

石炭を燃料とした火力発電所のほとんどは、石炭を微粉碎し、バーナ燃焼を行う微粉炭燃焼方式を採用している。この微粉炭火力においては、環境保全性の向上ならびに発電コスト低減のため、できるだけ燃焼調整によりボイラ出口での NO_x 濃度を低減し、脱硝装置にかかる負荷を軽減することが望まれている。既存の低 NO_x 燃焼技術における最も大きな問題は、 NO_x の低減に伴い、火炉から排出される石炭灰中の未燃分が増加してしまうことであり、石炭灰の有効利用を進め、コストのかかる埋立処分量を減らすためには、灰中未燃分濃度の低減も不可欠であり、 NO_x と灰中未燃分の両方を低減させる燃焼技術が重要となっている。

一方、微粉炭火力におけるもう一つの課題として、電力需要の変化に応じたバーナへの微粉炭負荷変化時の燃焼安定性を高めるとともに、燃焼可能な微粉炭の最低負荷量を引き下げ、石油火力並の負荷追従性を持たせることが挙げられる。微粉炭火力で負荷を低下させる場合、単純に微粉炭供給量を減少するだけでは、微粉炭濃度が希薄になり、安定燃焼が難しくなるという問題点が生じる。このため、微粉炭を安定に燃焼させるためには、搬送用空気中の微粉炭濃度を適正な範囲に保つ必要がある。微粉炭供給量の低下に応じて搬送用空気量を低下させれば微粉炭濃度を一定に保つことができるとも考えられるが、搬送用空気の流速が低下させると微粉炭が配管内に沈降しやすくなり、バーナへの微粉炭の安定供給が難しくなる。以上のことから、低負荷時に微粉炭が希薄となっても安定に燃焼できる技術、そして、負荷変化時の微粉炭濃度の変動を抑え負荷変化速度を大きくする技術が必要と言える。

このような背景のもと、財団法人電力中央研究所は、石川島播磨重工業株式会社(IHI)との共同研究により、 NO_x と灰中未燃分の両方を低減させる燃焼技術として、超低 NO_x バーナ(CI- α バーナ: CRIEPI-IHI - Advanced Low Pollution High Ability バーナ)を開発するとともに、負荷変動対応型バーナとして、低負荷時に希薄な濃度になる微粉炭流を安定着火が可能な濃度に濃縮する機能を持った負荷変動対応型バーナ(Wide Range バーナ)を個々に開発した。CI- α バーナにおいては、微粉炭搬送用 1 次空気に旋回がある場合、 NO_x 還元炎の形成に悪影響を及ぼすため、1 次空気は無旋回であることが必要であるが、WR バーナは、微粉炭搬送用 1 次空気に強い旋回を与えて遠心力を利用して微粉炭を

濃縮させるため、両方の機能を兼ね備えたバーナを開発する上では、単純に2つのバーナを一体化することは困難であった。

本研究では、 NO_x と灰中未燃分の両方を低減でき、かつ石油火力並みの最低負荷 20%でも安定燃焼ができる負荷変動対応型低 NO_x バーナを開発するため、バーナ出口の気流を無旋回にでき、かつ低負荷時の希薄微粉炭を安定燃焼可能な濃度まで局所的に濃縮する方法として、①微粉炭搬送用空気流に強い旋回を与えて微粉炭を濃縮した後に搬送用空気の流れを抑制する方法と②微粉炭搬送用空気流に旋回を与えない状態で微粉炭を濃縮する方法を考案し、これらを組み込んだ2形式のバーナについて検討を行った。

①の方式について、整流板が旋回抑制効果に及ぼす影響を検討するとともに、微粉炭濃縮特性および低負荷時燃焼特性の検討を行い、さらにバーナ容量をスケールアップし、整流板の旋回抑制効果、微粉炭濃縮特性および低負荷時燃焼特性の検討を行い、以下の結論が得られた。

(1)バーナノズル内の旋回流は、ノズル出口に整流板を設けることにより旋回の抑制が可能であり、その際の旋回抑制効果は、1次空気管通路断面積に対する整流板面積の比で定義した整流板係数に依存し、整流板係数の増大と共に旋回抑制効果は大きくなる。また、整流板の枚数と長さが異なっても整流板係数が同一であれば、ほぼ同等の抑制効果が得られる。

(2)バーナノズル外周部の微粉炭濃度は、濃度調整リングをバーナ出口に近づけるほど高くなり、バーナノズル内の平均濃度に対し、約 1.5 倍まで濃縮することが可能である。これにより、低負荷時の着火性が改善されるため、石油火力並の 20%負荷での安定燃焼が可能である。

(3)低負荷時には、濃度調整リングをバーナ出口に近づけ、バーナノズル外周部の濃度を高めるほど、 NO_x 濃度は若干増加するものの燃焼効率は大幅に向上し、灰中未燃分が大きく低減される。また、その効果は、低負荷になるほど顕著に表れる。一方、高負荷時には、リングをバーナ出口に近づけると、微粉炭が過濃な状態となるため、燃焼効率は低下し、灰中未燃分濃度が増加する。高負荷条件では、リングとバーナ出口との距離を大きくすることにより、微粉炭の過濃状態が改善され、濃縮機能を持たない CI- α バーナと比較して、 NO_x 濃度は若干高くなるものの燃焼効率および灰中未燃分濃度は同等に維持できる。

(4)バーナ容量をスケールアップした際にも整流板を設置することに

より、旋回抑制が可能であり、整流板の旋回抑制効果は、整流板の面積とバーナノズル断面積の比で表される整流板係数に依存し、旋回抑制可能な整流板係数は、バーナ容量に係わらずほぼ等しくなる。

(5)バーナノズル外周部の微粉炭濃度は、バーナをスケールアップした場合でも濃度調整リングをバーナ出口に移動させるほど増加する。その微粉炭濃縮効果は、小型のバーナよりも高く、約 1.7 倍まで濃縮可能である。

(6)バーナ容量のスケールアップにより、 NO_x 濃度および灰中未燃分濃度は低くなる。微粉炭濃縮による効果は、小型バーナと同様、低負荷になるほど大きくなり、 NO_x 濃度は若干増加するものの灰中未燃分は大きく低減する。

次に、微粉炭濃縮メカニズムを明らかにするため、CFD を用い、実規模級バーナを対象としてバーナノズル内の流動および粒子挙動を解析し、以下の結論を得た。

(1)管の流入部で与えた強い旋回は、微粉炭濃縮リングに到達する以前にディフレクタアングルにより弱められ、リング通過時にほぼ完全に抑制される。

(2)微粉炭粒子の濃縮率は、リング下流に生じる後流に沿って管中心へ向かう流れと乱れによって決定されるが、台形の濃縮リングでは、乱れによる粒子の輸送が濃縮率低下の主な要因と考えられる。このため、微粉炭の濃縮は、リング下流から中間筒までの距離をある程度短くすることによって、乱れによる粒子の管中心方向へ移動を減少させることで実現できる。

②の形式について、微粉炭濃縮特性および低負荷時燃焼特性の検討を行い、さらにバーナ容量をスケールアップし、微粉炭濃縮特性および低負荷時燃焼特性の検討を行い、以下の結論が得られた。

(1)微粉炭濃縮のためのリング形状は、台形よりも流線形の方が効果的な濃縮効果が得られ、バーナ外周部の微粉炭濃度は、小型バーナで約 1.8 倍となる。バーナ容量をスケールアップした場合は、約 1.5 倍まで濃縮されたが、小型バーナに比べ、微粉炭の半径方向への移動距離が大きくなるため、濃縮効果が低下する。

(2)流線形リング式バーナの NO_x 濃度および灰中未燃分濃度は旋回流入り式バーナとほぼ一致し、同等のバーナ性能である。

以上のことから、本研究で開発した負荷変動対応型低 NO_x バーナは、いずれの濃縮形式でも目標とした 20%負荷での安定燃焼が可能であり、

また、100%負荷では濃縮機能を持たない超低 NO_x バーナとほぼ同等の NO_x 濃度、灰中未燃分濃度が維持できることが明らかになった。負荷を減少させた中間負荷帯では、NO_x 濃度は濃縮機能の有無によらずほぼ同等になるが、灰中未燃分濃度は濃縮機能を持つ場合の方が大幅に低減でき、その差は、低負荷になるほど大きくなった。これより、濃縮機能を持つ超低 NO_x バーナは、ワイドレンジバーナと超低 NO_x バーナの両方の優れた機能を有すことに加え、中間負荷帯での灰中未燃分の低減にも大きな効果を有することが明らかになった。この特性は、濃縮方式によらずほぼ同一であるため、実機への適用に際しては、バーナの設置スペース、給炭管との接続、加工の容易さ等の要素も考慮して、設置しやすい方式を選定すれば良いと思われる。

学位論文審査結果の要旨

平成 19 年 7 月 4 日に予備審査会、8 月 2 日に口頭発表と質疑応答を行い、その後に開催した学位論文審査会において以下のように決定した。

本論文は、電力需要の変動に応じて、微粉炭火力発電用バーナへの微粉炭供給量を減少させても常に安定な低 NO_x 燃焼を実現できるバーナの開発に関するものである。微粉炭のバーナへの供給量が減少すると、微粉炭濃度が希薄となり、安定な低 NO_x 燃焼が困難になる。そこで、本論文では、2 種類の微粉炭濃縮法—接線流入式(微粉炭を遠心力で濃縮)と、リング式(慣性による濃縮)—について検討した。接線流入式に対しては、低 NO_x 燃焼を実現するため、旋回を抑制できる整流板条件を明らかにし、数値解析により濃縮メカニズムを解明した。また、リング式については、微粉炭濃縮に効果的なリング形状や設置位置などの条件を明らかにした。そして、両微粉炭濃縮法ともバーナ容量を実規模までスケールアップしてその性能を実証した。さらに、接線流入式と濃縮リングを併用した濃縮法に関して、低 NO_x 燃焼に不可欠な旋回流の抑制と、濃縮機構について詳細な数値解析を行い、粒子の濃縮率はリング通過後の乱れによって決定されることを明らかにした。

以上のように、本論文は、微粉炭負荷変動型低 NO_x バーナの開発において優れた成果をあげただけでなく、バーナ内部の流れ、粒子の濃縮機構について詳細な検討を行い、学術的にも重要な知見を得ており、博士(工学)の学位を授与するに値すると判断する。